

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-123341  
 (43)Date of publication of application : 15.05.1998

(51)Int.CI. G02B 6/122  
 G02B 6/13

(21)Application number : 08-278216 (71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP  
 <NTT>

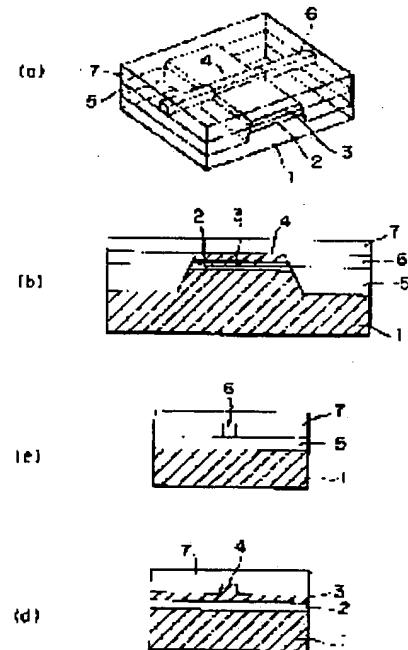
(22)Date of filing : 21.10.1996 (72)Inventor : HATTORI KUNINORI  
 MORIWAKI KAZUYUKI  
 OMORI YASUJI

## (54) OPTICAL WAVEGUIDE AND ITS PRODUCTION

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To obtain practicable optical circuits integrated with waveguides of quartz glass and silicon on the same substrate by closely and serially connecting quartz glass optical waveguide parts having core part and clad parts both composed of quartz glass and silicon optical waveguide parts having the core parts comprising silicon and the clad parts comprising quartz glass, thereby forming the optical waveguides.

**SOLUTION:** This optical waveguide is constituted by closely and serially connecting the quartz glass optical waveguide parts and the silicon optical waveguide parts on a silicon substrate 1. The quartz glass optical waveguide parts comprise the rectangular cores 6, the lower clads 5 arranged on the bases of the cores 6 and the upper clads 7 arranged on the flanks and front surfaces of the cores 6. The cores 6 and the clads 5, 7 are formed of the quartz glass. On the other hand, the silicon optical waveguide parts exist above silicon terrace structure parts. The cores 4 formed of the silicon consist of the rib structures in which the lower clad quartz systems are enclosed by the quartz glass layers 2 and the quartz glass 7 on the flanks and front surfaces of the cores 4.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 09.02.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3343846

[Date of registration] 30.08.2002

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-123341

(43)公開日 平成10年(1998)5月15日

(51)Int.Cl.<sup>8</sup>

G 0 2 B 6/122  
6/13

識別記号

F I

G 0 2 B 6/12

A  
M

審査請求 未請求 請求項の数6 OL (全10頁)

(21)出願番号

特願平8-278216

(22)出願日

平成8年(1996)10月21日

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(72)発明者 服部 邦典

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(72)発明者 森脇 和幸

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(72)発明者 大森 保治

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

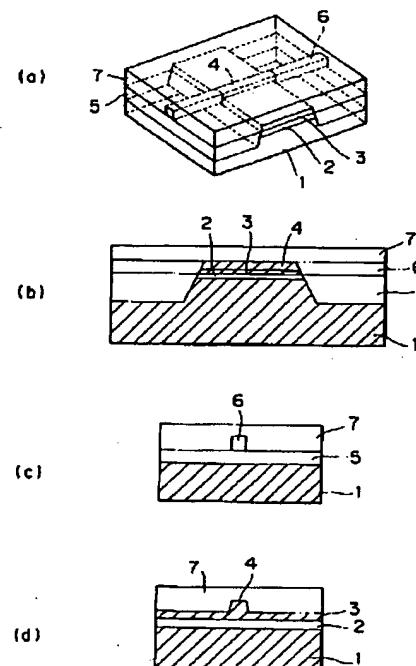
(74)代理人 弁理士 谷 義一 (外1名)

(54)【発明の名称】 光導波路およびその製造方法

(57)【要約】

【課題】 石英系ガラス光導波路とシリコン光導波路とが同一基板上に集積した光導波路およびその製造方法を提供すること。

【解決手段】 基板上に形成された光を伝搬するコアおよび前記コアより屈折率の低いクラッドにより構成される光導波路において、前記光導波路が、ともに石英系ガラスで構成されるコア部およびクラッド部を有する石英系ガラス光導波路部と、シリコンで構成されるコア部および石英系ガラスで構成されるクラッド部を有するシリコン光導波路部とから成り、前記石英系ガラス光導波路部と前記シリコン光導波路部が間隙なく、あるいは間隙を挟んで互いに直列に接続されている光導波路。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に形成された光を伝搬するコアおよび前記コアより屈折率の低いクラッドにより構成される光導波路において、前記光導波路が、ともに石英系ガラスで構成されるコア部およびクラッド部を有する石英系ガラス光導波路部と、シリコンで構成されるコア部および石英系ガラスで構成されるクラッド部を有するシリコン光導波路部とから成り、前記石英系ガラス光導波路部と前記シリコン光導波路部が間隙なく互いに直列に接続されていることを特徴とする光導波路。

【請求項2】 基板上に形成された光を伝搬するコアおよび前記コアより屈折率の低いクラッドにより構成される光導波路において、前記光導波路が、ともに石英系ガラスで構成されるコア部およびクラッド部を有する石英系ガラス光導波路部と、シリコンで構成されるクラッド部を有するシリコン光導波路部とから成り、前記石英系ガラス光導波路部と前記シリコン光導波路部が間隙を挟んで互いに直列に接続されていることを特徴とする光導波路。

【請求項3】 請求項2記載の光導波路において、前記間隙が、前記石英系ガラス光導波路部のコア部を構成する石英系ガラスの屈折率と前記シリコン光導波路部のコア部を構成するシリコンの屈折率との間の屈折率を有する光学材料で充填されたことを特徴とする光導波路。

【請求項4】 請求項1記載の光導波路を製造するための方法であって、

(a) シリコン層と石英系ガラス層とシリコン層との三層から構成される積層体にフォトリソグラフィー工程およびエッティングを行って、シリコン層と石英系ガラス層とシリコン層とからなるシリコンテラス構造部を形成し、

(b) 前記シリコンテラス構造部が形成された積層体上に、石英系ガラス光導波路部の下部クラッド用石英系ガラス層を前記シリコンテラス構造部の頂部が覆われるような膜厚で形成し、前記下部クラッド用石英系ガラス層を前記シリコンテラス構造部の頂部高さに合わせて研磨して前記シリコンテラス構造部の頂部より上の領域を除去し、前記下部クラッド用石英系ガラス層をエッティングして石英系ガラス用光導波路部の光軸高さを調整して、石英系ガラス光導波路部の下部クラッドを形成し、

(c) 石英系ガラス光導波路部のコア用石英系ガラス層を前記下部クラッドおよび前記シリコンテラス構造部の上に前記シリコンテラス構造部の頂部が覆われるような膜厚で形成し、前記コア用石英系ガラス層を前記シリコンテラス構造部の頂部高さに合わせて研磨してシリコンテラス構造部の頂部より上の領域を除去し、前記コア用石英系ガラス層と前記シリコンテラス構造部のシリコン層をフォトリソグラフィー工程およびエッティングにより加工して、石英系ガラス光導波路部のコア部およびシリコン光導波路部のコア部を形成し、

(d) 前記石英系ガラス光導波路部のコア部の上部周辺および前記シリコン光導波路部のコア部の上部周辺に上部クラッド用石英系ガラス層を形成して、石英系ガラス光導波路部の上部クラッドおよびシリコン光導波路部の上部クラッドを形成することを特徴とする光導波路の製造方法。

【請求項5】 請求項2記載の光導波路を製造するための方法であって、

(a) シリコン層と石英系ガラス層とシリコン層との三層から構成される積層体にフォトリソグラフィー工程およびエッティングを行って、シリコン層と石英系ガラス層とシリコン層とからなるシリコンテラス構造部を形成し、

(b) 前記シリコンテラス構造部が形成された積層体上に、石英系ガラス光導波路部の下部クラッド用石英系ガラス層と該コア用石英系ガラス層とを、光軸高さに合わせるように、しかも前記下部クラッド用石英系ガラス層と前記コア用石英系ガラス層の積層された合計膜厚が前記シリコンテラス構造部の頂部高さと等しくなるように順次積層し、

(c) 前記シリコンテラス構造部の頂部より上の領域、および前記シリコンテラス構造部の周辺において前記下部クラッド用石英系ガラス層と前記コア用石英系ガラス層との積層構造が傾斜している領域にある前記コア用石英系ガラス層および前記下部クラッド用石英系ガラス層をフォトリソグラフィー工程およびエッティングにより除去して、前記下部クラッド用石英系ガラス層と前記コア用石英系ガラス層とからの構造と前記シリコンテラス構造部との間に間隙を形成し、

(d) 前記コア用石英系ガラス層および前記シリコンテラス構造部の最上層のシリコン層をフォトリソグラフィー工程およびエッティングにより加工して、石英系ガラス光導波路部のコア部およびシリコン光導波路部のコア部を形成し、

(e) 前記石英系ガラス光導波路部のコア部および前記シリコン光導波路部のコア部の上部周辺および前記間隙に上部クラッド用石英系ガラス層を形成して、石英系ガラス光導波路部とシリコン光導波路部の上部クラッドを形成することを特徴とする光導波路の製造方法。

【請求項6】 請求項3記載の光導波路を製造するための方法であって、

(a) シリコン層と石英系ガラス層とシリコン層との三層から構成される積層体にフォトリソグラフィー工程およびエッティングを行って、シリコン層と石英系ガラス層とシリコン層とからなるシリコンテラス構造部を形成し、

(b) 前記シリコンテラス構造部の最上層のシリコン層をフォトリソグラフィー工程およびエッティングを用いて加工して、該シリコン層上にシリコン光導波路部のコア部を形成し、

(c) 前記コア部の形成されたシリコンテラス構造部を有する積層体上に、石英系ガラス光導波路部の下部クラッド用石英系ガラス層と該コア用石英系ガラス層とを、光軸高さに合わせるように、しかも前記下部クラッド用石英系ガラス層と前記コア用石英系ガラス層との積層された合計膜厚が前記シリコンテラス構造部の高さと等しくなるように順次積層し、

(d) 前記石英系ガラス光導波路部のコア用石英系ガラス層にフォトリソグラフィー工程およびエッチングを行つて石英系ガラス光導波路部のコア部を形成し、

(e) 前記石英系ガラス光導波路部のコア部および前記シリコン光導波路部のコア部を覆うようにして、上部クラッド用石英系ガラス層を形成して、石英系ガラス光導波路部とシリコン光導波路部の上部クラッド層を形成し、

(f) 前記シリコンテラス構造部の周辺において前記石英系ガラス光導波路部のコア用石英系ガラス層が傾斜している領域にある前記コア用石英系ガラス層前記下部クラッド用石英系ガラス層および前記石英系ガラス光導波路部の上部クラッド用石英系ガラス層をフォトリソグラフィー工程およびエッチングにより除去して、前記石英系ガラス光導波路部と前記シリコン光導波路部との間に隙間を形成し、

(g) 前記隙間に、前記石英系ガラス光導波路部のコア部を構成する石英系ガラスの屈折率と前記シリコン光導波路部のコア部を構成するシリコンの屈折率との間の屈折率を有する光学材料を充填することを特徴とする光導波路の製造方法。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光通信、光信号処理、光計測分野における光回路部品に用いられる光導波路およびその製造方法に関するものであり、波長1.3μm帯および1.55μm帯における信号光処理を行う光導波路およびその製造方法に関するものである。

##### 【0002】

【従来の技術】石英系ガラス導波路型光部品は石英系光ファイバと低損失で接続可能なことから、実用的な導波路型光部品を実現できる手段として注目されている。石英系ガラス光導波路は、数μmから数十μm厚のコアまたはクラッドとなる石英系ガラス膜を形成する技術と、形成されたコア石英系ガラス膜をフォトリソグラフィー工程およびエッチングを利用して数μm幅のパターン形状に加工する技術を組み合わせて作製され、これまでに、様々な光回路が実現されている。

【0003】図7に従来の石英系ガラス光導波路の構造と製造方法の一例を示す。この光導波路は、平面基板1上に形成された光を伝搬するコア6およびコアより屈折率の低いクラッド5、7により構成されており、コア6およびクラッド5、7は石英系ガラスで形成されてい

る。ここでは、基板1としてシリコン基板を用いた。この石英系ガラス光導波路を作製するには、まず、シリコン基板1上に膜厚30μm程度である下部クラッド石英系ガラス層5および膜厚数μmであるコア石英系ガラス層10を火炎堆積法により形成する。次に、コア石英系ガラス層をフォトリソグラフィー工程およびエッチングを用いて矩形のコア6に加工する。最後に、膜厚30μm程度である上部クラッド石英系ガラス層7を火炎堆積法により作製する。

【0004】以上の製造方法で作製される石英系ガラス光導波路は波長1.3μmおよび1.55μmにおける伝搬損失が0.1dB/cm以下と小さく、また、コアがクラッドに囲まれた埋め込み型の構造であることから曲げ半径を小さくできる。さらに、コア作製にフォトリソグラフィー工程を用いていることから、導波路で構成する光回路の設計自由度が高い。以上の特徴より、光波の干渉を利用したマッハツェンダ干渉計、アレー導波路格子において、高消光比、低挿入損失である光部品が実現されている。さらに、石英系ガラスの熱光学効果を利用し、マッハツェンダ干渉計の片方のアーム導波路に金属薄膜によるヒータを具備した光スイッチおよび光スイッチをマトリックス状に配置したN×Nマトリックス光スイッチが実現されており、高消光比、低挿入損失な動作が達成されている（例えば、M. Okuno et al., "Improved 8x8 integrated optical matrix switch using silica-based planar lightwave circuits", J. Lightwave Technol., vol.12, pp.1597-1606, 1994）。

【0005】一方、最近、シリコン層と石英系ガラス層とシリコン層との三層構造を有するSOI基板を用いたシリコン光導波路に関する研究が活発化している（例えば、U. Fischer et al., "0.1dB/cm waveguide losses in single-mode SOI rib waveguides", IEEE Photon. Technol. Lett., vol.8, pp.647-648, 1996）。図8にシリコン光導波路と製造方法を示す。シリコンで形成されたコアと石英系ガラス（シリコン酸化層）で形成されたクラッドにより構成されたリブ導波路構造である。

【0006】このシリコン光導波路を作製するには、まず、シリコン基板1にイオン注入と高温度熱酸化処理によりシリコンの酸化層（すなわち、石英系ガラス層）2を形成し、その上にさらにシリコン層3を設けて、シリコン層1と石英系ガラス層（シリコン酸化層）2とシリコン層3の三層構造を有するSOI基板を作製する。この段階で必要に応じて最上層のシリコン層3の膜厚をエピタキシャル成長により厚くする。次に、シリコン層3をフォトリソグラフィー工程およびエッチングを用いて加工し、シリコンスラブ層3とシリコンリッジ部4より形成されるリブ導波路構造を形成する。最後に、高温度熱酸化処理により上部クラッド用石英系ガラス層7を形成する。

【0007】このようにして製造されたシリコン光導波

路は、シリコンの熱光学定数が石英系ガラスの10倍程度大きい値であり、かつ、シリコンの熱伝導率が石英系ガラスの100倍程度大きいことから、例えば、金属薄膜ヒータを装荷したマッハツェンダ干渉計を用いた光スイッチにおいて、1MHz程度の高速スイッチ周波数が実現できる。さらに、シリコンのコアに電流注入すると、フリーキャリヤの移動による屈折率変化が誘起される性質がある。従って、シリコン光導波路にドープ領域を設けて電流注入用電極とし、マッハツェンダ干渉計を用いた光強度変調器や光スイッチを構成すると、熱光学効果を用いる場合に比べさらに高速であるnsec領域での応答が可能となる。さらに、シリコン光導波路は、SiGe液晶部を設けることによって光検出器を集積できる。また、LSI高速電子回路を光導波路とモノリシック集積できるといった特徴を有する。

## 【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、図8に示されるシリコン光導波路はリップ導波路構造であるため、コア部とクラッド部の比屈折率差はたかだか10<sup>-3</sup>程度であり、曲げ導波路での損失が顕著となる問題があった。つまり、実効屈折率が10<sup>-3</sup>の場合、許容曲げ半径は数cmに及ぶ。従って、分岐や曲がりを含む実用的な光回路を構成するには適していない。

【0009】これに対し、図7に示される石英系ガラス光導波路は埋め込み型の三次元光導波路構造であることから曲げ半径は1cm以下となる。例えばコアとクラッドの比屈折率差が0.75%である場合、許容曲げ半径は5mmである。

【0010】従って、曲げ半径が小さく、実用的な光回路の構成に適した石英系ガラス光導波路と電極による高速屈折率制御が可能なシリコン光導波路とを組み合わせることができれば、例えば、光強度変調器や光スイッチおよびこれらを組み合わせた実用的な光回路を実現できることが期待できる。しかしながら、これまで、石英系ガラス光導波路とシリコン光導波路を同一基板上に集積した光導波路およびその製造方法に関しては提案がなかった。

【0011】本発明は、これらの問題点を鑑みてなされたものであり、その目的は、石英系ガラス光導波路とシリコン光導波路を同一基板上に集積した光導波路およびその製造方法を提供することにある。

## 【0012】

【課題を解決するための手段】前記目的を達成するため、本発明の光導波路は、基板上に形成された光を伝搬するコアおよび前記コアより屈折率の低いクラッドにより構成される光導波路において、前記光導波路が、とともに石英系ガラスで構成されるコア部およびクラッド部を有する石英系ガラス光導波路部と、シリコンで構成されるコア部および石英系ガラスで構成されるクラッド部を有するシリコン光導波路部とから成り、前記石英系ガラス

光導波路部と前記シリコン光導波路部が間隙なく互いに直列に接続されていることを特徴とする。

【0013】さらに、前記光導波路の構造を実現する光導波路の製造方法は、(a)シリコン層と石英系ガラス層とシリコン層との三層から構成される積層体にフォトリソグラフィー工程およびエッチングを行って、シリコン層と石英系ガラス層とシリコン層とからなるシリコンテラス構造部を形成し、(b)前記シリコンテラス構造部が形成された積層体上に、石英系ガラス光導波路部の下部クラッド用石英系ガラス層を前記シリコンテラス構造部の頂部が覆われるような膜厚で形成し、前記下部クラッド用石英系ガラス層を前記シリコンテラス構造部の頂部高さに合わせて研磨して前記シリコンテラス構造部の頂部より上の領域を除去し、前記下部クラッド用石英系ガラス層をエッチングして石英系ガラス用光導波路部の光軸高さを調整して、石英系ガラス光導波路部の下部クラッドを形成し、(c)石英系ガラス光導波路部のコア用石英系ガラス層を前記下部クラッドおよび前記シリコンテラス構造部の上に前記シリコンテラス構造部の頂部が覆われるような膜厚で形成し、前記コア用石英系ガラス層を前記シリコンテラス構造部の頂部高さに合わせて研磨してシリコンテラス構造部の頂部より上の領域を除去し、前記コア用石英系ガラス層と前記シリコンテラス構造部のシリコン層をフォトリソグラフィー工程およびエッチングにより加工して、石英系ガラス光導波路部のコア部およびシリコン光導波路部のコア部を形成し、(d)前記石英系ガラス光導波路部のコア部の上部周辺および前記シリコン光導波路部のコア部の上部周辺に上部クラッド用石英系ガラス層を形成して、石英系ガラス光導波路部の上部クラッドおよびシリコン光導波路部の上部クラッドを形成することを特徴とする。

【0014】また、本発明の光導波路は、基板上に形成された光を伝搬するコアおよび前記コアより屈折率の低いクラッドにより構成される光導波路において、前記光導波路が、とともに石英系ガラスで構成されるコア部およびクラッド部を有する石英系ガラス光導波路部と、シリコンで構成されるコア部および石英系ガラスで構成されるクラッド部を有するシリコン光導波路部とから成り、前記石英系ガラス光導波路部と前記シリコン光導波路部が間隙を挟んで互いに直列に接続されていてもよく、あるいは、前記間隙が、前記石英系ガラス光導波路部のコア部を構成する石英系ガラスの屈折率と前記シリコン光導波路部のコア部を構成するシリコンの屈折率との間の屈折率を有する光学材料で充填されていてもよい。

【0015】さらに、前記光導波路の構造を実現するための光導波路の製造方法は、(a)シリコン層と石英系ガラス層とシリコン層との三層から構成される積層体にフォトリソグラフィー工程およびエッチングを行って、シリコン層と石英系ガラス層とシリコン層とからなるシリコンテラス構造部を形成し、(b)前記シリコンテラ

ス構造部が形成された積層体上に、石英系ガラス光導波路部の下部クラッド用石英系ガラス層と該コア用石英系ガラス層とを、光軸高さに合わせるように、しかも前記下部クラッド用石英系ガラス層と前記コア用石英系ガラス層の積層された合計膜厚が前記シリコンテラス構造部の頂部高さと等しくなるように順次積層し、(c)前記シリコンテラス構造部の頂部より上の領域、および前記シリコンテラス構造部の周辺において前記下部クラッド用石英系ガラス層と前記コア用石英系ガラス層との積層構造が傾斜している領域にある前記コア用石英系ガラス層および前記下部クラッド用石英系ガラス層をフォトリソグラフィー工程およびエッティングにより除去して、前記下部クラッド用石英系ガラス層と前記コア用石英系ガラス層とからの構造と前記シリコンテラス構造部との間に間隙を形成し、(d)前記コア用石英系ガラス層および前記シリコンテラス構造部の最上層のシリコン層をフォトリソグラフィー工程およびエッティングにより加工して、石英系ガラス光導波路部のコア部およびシリコン光導波路部のコア部を形成し、(e)前記石英系ガラス光導波路部のコア部および前記シリコン光導波路部のコア部の上部周辺および前記間隙に上部クラッド用石英系ガラス層を形成して、石英系ガラス光導波路部とシリコン光導波路部の上部クラッドを形成することを特徴とするか、あるいは、(a)シリコン層と石英系ガラス層とシリコン層との三層から構成される積層体にフォトリソグラフィー工程およびエッティングを行って、シリコン層と石英系ガラス層とシリコン層とからなるシリコンテラス構造部を形成し、(b)前記シリコンテラス構造部の最上層のシリコン層をフォトリソグラフィー工程およびエッティングを用いて加工して、該シリコン層上にシリコン光導波路部のコア部を形成し、(c)前記コア部の形成されたシリコンテラス構造部を有する積層体上に、石英系ガラス光導波路部の下部クラッド用石英系ガラス層と該コア用石英系ガラス層とを、光軸高さに合わせるように、しかも前記下部クラッド用石英系ガラス層と前記コア用石英系ガラス層との積層された合計膜厚が前記シリコンテラス構造部の高さと等しくなるように順次積層し、(d)前記石英系ガラス光導波路部のコア用石英系ガラス層にフォトリソグラフィー工程およびエッティングを行って石英系ガラス光導波路部のコア部を形成し、(e)前記石英系ガラス光導波路部のコア部および前記シリコン光導波路部のコア部を覆うようにして、上部クラッド用石英系ガラス層を形成して、石英系ガラス光導波路部とシリコン光導波路部の上部クラッド層を形成し、(f)前記シリコンテラス構造部の周辺において前記石英系ガラス光導波路部のコア用石英系ガラス層が傾斜している領域にある前記コア用石英系ガラス層前記下部クラッド用石英系ガラス層および前記石英系ガラス光導波路部の上部クラッド用石英系ガラス層をフォトリソグラフィー工程およびエッティングにより除去して、前記石英

系ガラス光導波路部と前記シリコン光導波路部との間に間隙を形成し、(g)前記間隙に、前記石英系ガラス光導波路部のコア部を構成する石英系ガラスの屈折率と前記シリコン光導波路部のコア部を構成するシリコンの屈折率との間の屈折率を有する光学材料を充填することを特徴とする。

【0016】本発明によれば、石英系ガラス光導波路とシリコン光導波路が同一基板上で接続される構造を有していることから、例えば、曲げを含む光干渉回路部を石英系ガラス光導波路で構成し、屈折率変調部をシリコン光導波路で構成する光回路を実現できる。しかも、この光導波路の製造方法は、シリコンテラス構造による高さ基準面を規定していることから、石英系ガラス光導波路とシリコン光導波路の高さ方向の光軸がずれなく接続することが可能であり、かつ、フォトリソグラフィー工程によりコア部を形成することから横方向の光軸は1μm以下の精度で接続することが可能となる。さらに、本発明によれば石英系ガラス光導波路とシリコン光導波路とを間隙なく接続し、又は間隙が生じてもその間隙が空気である場合でも必要に応じて屈折率が石英系ガラス光導波路の石英系ガラスコアの屈折率より高くシリコンより小さい石英系ガラスや光学ポリマー材料などを埋めることができあるため、シリコン導波路と空気の間で発生する反射による接続損失を最小限に抑制できる。従って、本発明の光導波路の製造方法を用いることにより、石英系ガラス光導波路とシリコン光導波路の光軸を一致させて一枚の基板上に集積することができる。本発明による光導波路は、石英系ガラス光導波路とシリコン光導波路の接続損失が最小限に抑制できることから、回路内に接続部を複数箇所含む複雑な光回路に適用できる。また、本発明の光導波路の製造方法は、既存のフォトリソグラフィー工程、エッティング技術および研磨技術を組み合わせて用いることから、石英系ガラス光導波路とシリコン光導波路が低損失で接続された光導波路を歩留り良く製造することができる。

【0017】

【発明の実施の形態】以下、図面により本発明の実施例を詳細に説明する。

【0018】実施例1

図1に本発明による第1の形態である光導波路の構造を示す。シリコン基板1上に石英系ガラス光導波路部とシリコン光導波路部とが間隙なく直列に接続された構造である。石英系ガラス光導波路部は矩形のコア6とコアの底面に配置された下部クラッド5、およびコア6の側面と上面に配置された上部クラッド7により構成される。コア6とクラッド5、7は石英系ガラスで形成される。一方、シリコン光導波路部はシリコンテラス構造部9の上に位置している。シリコンで形成されたコア4はシリコンテラス構造部9の中に形成された下部クラッド石英系ガラス層2と、コア4の側面および上面に形成された

上部クラッド石英系ガラス7で囲まれており、リップ導波路構造である。石英系ガラス光導波路部のコア6とシリコン光導波路部のコア4は互いに間隙なく接続されている。

【0019】図2に上記光導波路の製造方法を示す。まず、シリコン基板1中にイオン注入により酸素イオンを打ち込み、高温処理によりシリコンの酸化層（または石英系ガラス層）2を形成し、さらにその上にシリコン層を設けて、積層体であるSOI基板を作製する。次に、こうして得られたSOI基板にフォトリソグラフィー工程およびエッティングを行って、シリコン光導波路部となる領域にシリコンテラス構造部9を形成する。ここにおいて、「シリコンテラス構造部」とは、シリコン基板1上に一段高くして形成された、上部の平らな台状形状を有する、シリコン層-石英ガラス層-シリコン層で構成された三層の構造体をいい、シリコンテラス構造部の「頂部高さ」とは、そのテラス部分の高さをいう。次に、膜厚がシリコンテラス構造部9の頂部高さ以上である下部クラッド石英系ガラス層5を火炎堆積法により形成する。次に、シリコンテラス構造部9上の下部クラッド石英系ガラス層5を研磨して、シリコンテラス構造部9の頂部領域を除去する。次に、下部クラッド石英系ガラス層5を高さがシリコンテラス構造部9中の石英系ガラス層2の高さと同じになるようエッティングする。次に、膜厚がシリコンテラス構造部9の頂部高さ以上であるコア石英系ガラス層10を火炎堆積法により形成する。次に、シリコンテラス構造部9の頂部より上の領域にあるコア石英系ガラス層を研磨により除去する。最後に、フォトリソグラフィー工程およびエッティングにより石英系ガラス光導波路のコア部6とシリコン光導波路部のコア部4を加工し、それらの上に上部クラッド石英系ガラス層7を火炎堆積法により形成する。この場合、石英系ガラス光導波路のコア部6の加工とシリコン光導波路のコア部4の加工の順番に制限はなく、フォトリソグラフィー工程において同時にマスクを形成して同時にエッティングする方法、もしくは、石英系ガラス導波路部のコア部6をエッティングにより形成した後にシリコン光導波路部のコア部4をエッティングにより形成する方法、または、シリコン光導波路部のコア部4をエッティングにより形成した後に石英系ガラス導波路部のコア部6をエッティングにより形成する方法が適用可能である。

【0020】上記の光導波路作製方法を用いて製造された光導波路は、石英系ガラス光導波路部の導波路長さが5cm、比屈折率差が0.75%、コア6の寸法が7×7μm、下部クラッド石英系ガラス層5の膜厚が20μm、上部クラッド石英系ガラス層7の膜厚が30μm、シリコン光導波路部の全長が5cm、コア4の高さが5.5μm、コア4の幅が8μm、コア4の下部のシリコンスラブ層3の膜厚が1.5μm、石英系ガラス層2の膜厚が0.5μmであった。この光導波路は、波長

1.55μmにおける損失を測定したところ、石英系ガラス光導波路の伝搬損失が0.1dB/cm、シリコン光導波路の伝搬損失が0.2dB/cm、石英系ガラス光導波路とシリコン光導波路の接続損失が0.5dBであり、本発明の光導波路の構造および製造方法が石英系ガラス光導波路とシリコン光導波路を集積した光導波路を実現する上で有効であることが判明した。

【0021】実施例2

図3に本発明による第2の形態である光導波路の構造を示す。石英系ガラス光導波路部とシリコン光導波路部の構造は実施例1で示した図1の光導波路の構造と同じであるが、石英系ガラス光導波路部とシリコン光導波路部の間に50μmの間隙8がある。この間隙は上部クラッド石英系ガラス膜により埋められている。

【0022】図4に上記光導波路の製造方法を示す。まず、シリコン基板1中にイオン注入により酸素イオンを打ち込み、高温度処理によりシリコンの酸化層（石英系ガラス層）2を形成し、さらにその上にシリコン層を設けて、積層体であるSOI基板を作製する。次に、こうして得られたSOI基板にフォトリソグラフィー工程およびエッティングを行って、シリコン光導波路部となる領域にシリコンテラス構造部9を形成する。次に、このシリコンテラス構造部9が形成された積層体上に、石英系ガラス光導波路部の下部クラッド石英系ガラス層5とコア石英系ガラス層10とを、光軸高さに合わせるように、しかも下部クラッド石英系ガラス層5とコア石英系ガラス層10の積層された合計膜厚がシリコンテラス構造部9の頂部高さと等しくなるように順次積層する。次に、シリコンテラス構造部9の頂部より上にある領域およびシリコンテラス構造部9の周辺部に位置するコア石英系ガラス層10が傾斜している領域にあるコア石英系ガラス層10および下部クラッド石英系ガラス層5をフォトリソグラフィー工程およびエッティングにより除去して間隙8を形成する。最後に、フォトリソグラフィー工程およびエッティングにより石英系ガラス光導波路部のコア6とシリコン光導波路部のコア4を加工し、上部クラッド石英系ガラス層7を火炎堆積法により形成する。この場合、石英系ガラス光導波路部のコア部6の加工とシリコン光導波路部のコア部4の加工の順番に制限はなく、フォトリソグラフィー工程において同時にマスクを形成して同時にエッティングする方法、もしくは、石英系ガラス導波路部のコア部6をエッティングにより形成した後にシリコン光導波路部のコア部4をエッティングにより形成する方法、または、シリコン光導波路部のコア部4をエッティングにより形成した後に石英系ガラス導波路部のコア部6をエッティングにより形成する方法が適用可能である。

【0023】本実施例の光導波路の製造方法は実施例1に比べ、一括して下部クラッド石英系ガラス層5およびコア石英系ガラス層10を形成し、フォトリソグラフィ

一工程およびエッチングにより不要部分を取り除いていることから、作製工程が最小限に少なく、歩留りが高いという利点を有する。

【0024】上記の光導波路作製方法を用いて製造された光導波路は、石英系ガラス光導波路部の導波路長が5cm、比屈折率差が0.75%、コア6の寸法が7×7μm、下部クラッド石英系ガラス層5の膜厚が20μm、上部クラッド石英系ガラス層7の膜厚が30μm、シリコン光導波路部の全長が5cm、コア4の高さが5.5μm、コア4の幅が8μm、コア4下部のシリコンスラブ層3の膜厚が1.5μm、石英系ガラス層2の膜厚が0.5μm、石英系ガラス光導波路部とシリコン光導波路部の間隙8が50μmであった。波長1.55μmにおける損失を測定したところ、石英系ガラス光導波路部の伝搬損失が0.1dB/cm、シリコン光導波路部の伝搬損失が0.2dB/cm、石英系ガラス光導波路とシリコン光導波路の接続損失が0.8dBであり、本発明の光導波路の構造および製造方法が石英系ガラス光導波路とシリコン光導波路を集積した光導波路を実現する上で有効であることが判明した。

#### 【0025】実施例3

図5に本発明による第3の形態の光導波路の製造方法を示す。石英系ガラス光導波路部とシリコン光導波路部の構造は実施例2で示した図3の光導波路の構造と同じであるが、石英系ガラス光導波路部とシリコン光導波路部の間に50μmの間隙8を設けてあり、間隙8には屈折率を整合させた紫外線硬化樹脂11が充填されている。

【0026】まず、シリコン基板1中にイオン注入により酸素イオンを打ち込み、高温度処理によりシリコンの酸化層2を形成し、さらにその上にシリコン層3を設けて、積層体であるSOI基板を作製する。次に、SOI基板にフォトリソグラフィー工程およびエッチングを行って、シリコン光導波路部となる領域にシリコンテラス構造部9を形成する。次に、フォトリソグラフィー工程およびエッチングによりシリコン光導波路部のコア4を加工する。次に、コア部4が形成されたシリコンテラス構造部9を有する積層体上に、石英系ガラス光導波路部の下部クラッド用石英系ガラス層5とコア用石英系ガラス層10とを、光軸高さに合わせるように、しかも下部クラッド用石英系ガラス層5とコア用石英系ガラス層10との積層された合計膜厚がシリコンテラス構造部9の頂部高さと等しくなるように順次積層する。次に、フォトリソグラフィー工程およびエッチングにより石英系ガラス光導波路部のコア6を加工し、上部クラッド石英系ガラス層7を火炎堆積法により形成する。次に、シリコンテラス構造部9の周辺部に位置する石英系ガラスコア6が傾斜している領域にある石英系ガラスコア6およびクラッド石英系ガラス層5をフォトリソグラフィー工程およびエッチングにより除去する。最後に、石英系ガラス光導波路部とシリコン光導波路部の間に設けた間隙8

に、石英系ガラスコア6とシリコンコア4の屈折率の間の屈折率を有する紫外線硬化樹脂を充填する。

【0027】本実施例の光導波路の製造方法は実施例2に比べ、上部クラッド石英系ガラス層7を間隙8に充填する必要がなくなり、上部クラッド石英系ガラス層7形成における作製条件を緩和できる。

【0028】上記の光導波路作製方法を用いて製造された光導波路は、石英系ガラス光導波路の導波路長が5cm、比屈折率差が0.75%、コア6の寸法が7×7μm、下部クラッド石英系ガラス層5の膜厚が20μm、上部クラッド石英系ガラス層7の膜厚が30μm、シリコン光導波路部の全長が5cm、コア4の高さが5.5μm、コア4の幅が8μm、コア4下部のシリコンスラブ層3の膜厚が1.5μm、石英系ガラス層2の膜厚が0.5μm、石英系ガラス光導波路部とシリコン光導波路部の間隙8が50μmであった。波長1.55μmにおける損失を測定したところ、石英系ガラス光導波路部の伝搬損失が0.1dB/cm、シリコン光導波路部の伝搬損失が0.2dB/cm、石英系ガラス光導波路部とシリコン光導波路部の接続損失は間隙8が空気である場合3.4dBであり、間隙8を屈折率が石英系ガラスとシリコンの間である紫外線硬化樹脂で充填することにより接続損失は0.8まで低減された。

【0029】以上より、本発明の光導波路の構造および製造方法が石英系ガラス光導波路とシリコン光導波路を集積した光導波路を実現する上で有効であることが判明した。

#### 【0030】実施例4

本発明の光導波路の構造と製造方法を用いて光スイッチ回路を作製した。図6に回路図の概要を示す。光回路全体はマッハツェンダ干渉計になっている。光回路は二個の石英系ガラス光導波路12で形成された方向性結合器14、シリコン光導波路13で形成されたアーム導波路、および金属薄膜ヒータ15より構成されている。光回路の全長は5cmである。光導波路の構造および製造方法は実施例1と同じである。金属薄膜ヒータ15は上部クラッド石英系ガラス層7の上にクロムを蒸着して作製した。ここでは、金属薄膜ヒータ15にCrを用いたが、他の金属の適用も可能である。

【0031】本実施例による光スイッチ回路のスイッチ特性を測定したところ、挿入損失1.5dB、スイッチ周波数1MHzを確認できた。従って、本発明の光導波路および製造方法が低損失で高速応答可能な光スイッチに適用可能であることが明らかとなった。

【0032】本実施例では、光回路としてマッハツェンダ干渉計を用いた光スイッチを示したが、マッハツェンダ干渉計を用いた光強度変調器、位相変調器にも適用可能である。さらに、本発明の光導波路の構造および製造方法を、光スイッチ、光強度変調器、位相変調器を組み合わせた大規模光回路、例えば光スイッチをマトリック

ス状に配置したN×Nマトリックススイッチに適用することは、石英系ガラス光導波路の有する回路設計の自由度が大きいという利点とシリコン光導波路の有する屈折率変化が高速応答するという利点を最大限発揮できることから極めて有用である。

【0033】以上、本実施例では、石英系ガラス膜作製に火炎堆積法を用いたが、これは、この方法が、比較的厚く高品質なガラス膜の堆積に適しているからである。場合によっては、別のガラス膜合成方法、例えばCVD法やスパッタ法を一部または全部に用いることもできる。また、SOI基板の作製にイオン注入法を用いたが、シリコン基板と石英系ガラス基板を張り合わせる方法も有効である。また、石英系ガラス光導波路とシリコン光導波路の間隙部に紫外線硬化樹脂を用いたが、これ以外でも、例えば、屈折率整合オイル、PMMA等屈折率が石英系ガラスとシリコンの間の値を有する光学材料であれば適用できる。また、フォトマスクにおける導波路の端面を斜めにした斜め端面構造を採用することは、シリコン光導波路の端面での反射に起因する接続損失を低減できることから有効である。また、場合によっては、間隙部の空気の状態でも本発明の目的は達成できる。

#### 【0034】

【発明の効果】以上に説明したように、本発明の光導波路の構造および製造方法を用いれば、高速応答する光スイッチ素子等を設計の自由度を妨げることなく実現することができる。また、シリコンテラス構造を用いていることから高さ方向の基準面が設定されており、かつ、フォトリソグラフィー工程によりコア加工を行っていることから横方向の光軸ずれが1 μm以下となり、石英系ガラス光導波路とシリコン光導波路間の接続部の光軸が精度良く調整できる。その結果、石英系ガラス光導波路とシリコン光導波路を集積した低損失な光回路を実現することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に第1の形態である光導波路において、(a)構造、(b)コアに沿った断面の構造、(c)石英系ガラス光導波路部のコアに垂直な断面の構造、

(d)シリコン光導波路部のコアに垂直な断面の構造をそれぞれ示す図である。

【図2】本発明の第1の形態である光導波路の製造方法を説明するためのコアに沿った断面の構造を示す図である。

【図3】本発明の第2の形態である光導波路において、(a)構造、(b)コアに沿った断面の構造、(c)石英系ガラス光導波路部のコアに垂直な断面の構造、(d)シリコン光導波路部のコアに垂直な断面の構造をそれぞれ示す図である。

【図4】本発明の第2の形態である光導波路の製造方法を説明するためのコアに沿った断面の構造を示す図である。

【図5】本発明の第3の形態である光導波路の製造方法を説明するためのコアに沿った断面の構造を示す図である。

【図6】本発明による光導波路を適用した光スイッチの回路構成を示す図である。

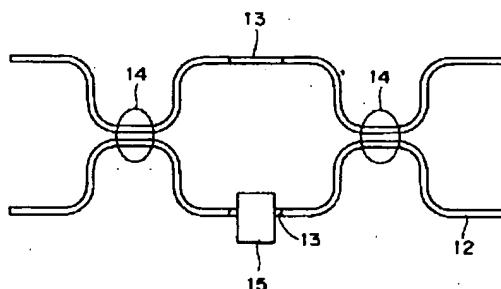
【図7】従来の石英系ガラス光導波路において、(a)構造、(b)製造方法をそれぞれ示す図である。

【図8】従来のシリコン光導波路において、(a)構造、(b)製造方法をそれぞれ示す図である。

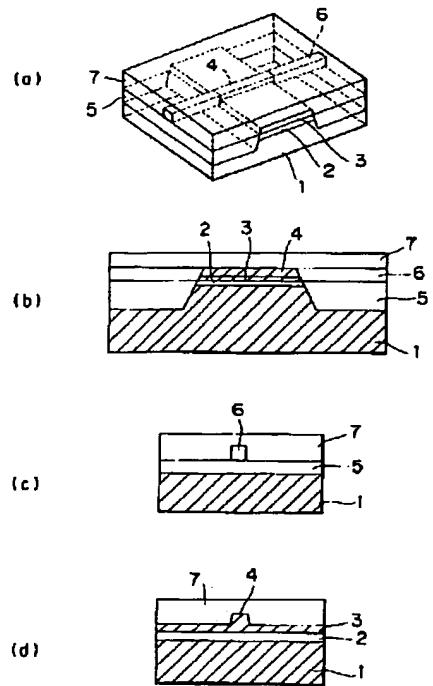
#### 【符号の説明】

- 1 シリコン基板
- 2 石英系ガラス層(シリコン酸化層)
- 3 シリコンスラブ層
- 4 シリコンリッジ部(シリコンコア)
- 5 下部クラッド石英系ガラス層
- 6 石英系ガラスコア
- 7 上部クラッド石英系ガラス層
- 8 間隙
- 9 シリコンテラス構造部
- 10 コア石英系ガラス層
- 11 光学材料
- 12 石英系ガラス光導波路
- 13 シリコン光導波路
- 14 方向性結合器
- 15 金属薄膜ヒータ

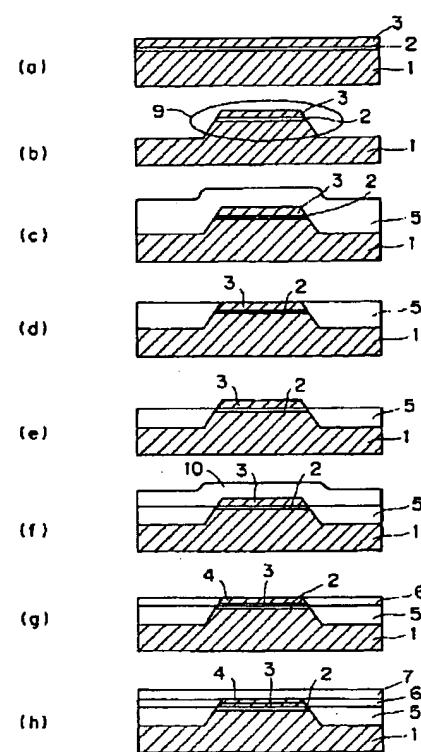
#### 【図6】



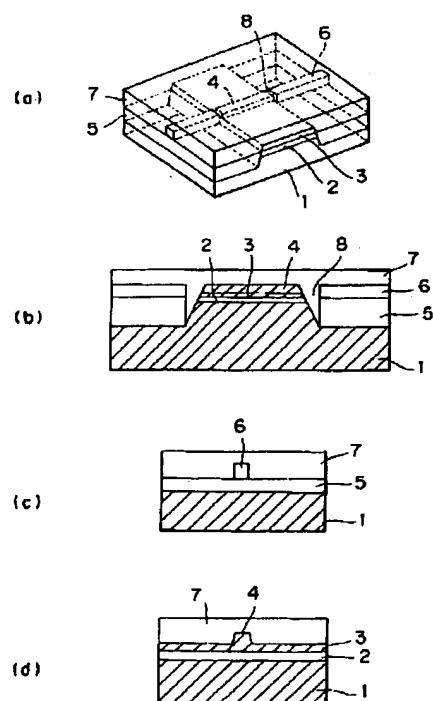
【図1】



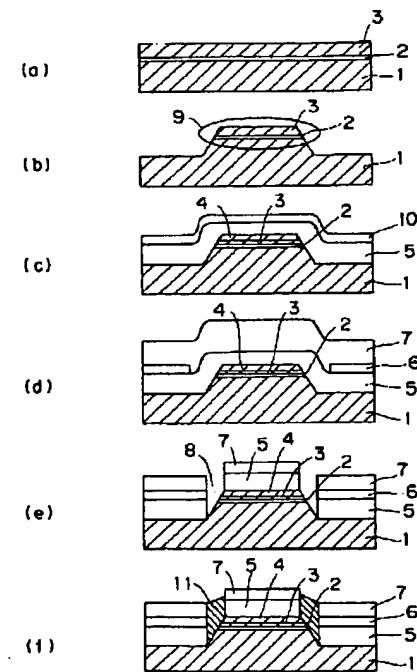
【図2】



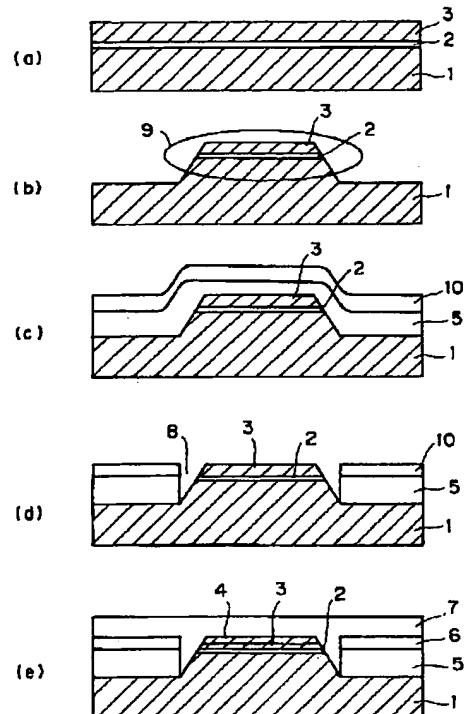
【図3】



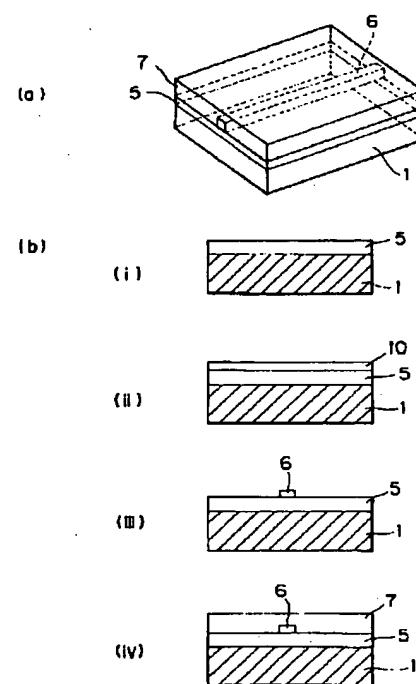
【図5】



【図4】



【図7】



【図8】

